

Renderizado háptico para el Novint Falcon

Enrique Linares Ramírez

Facultad de Ingeniería Electromecánica, Universidad de Colima, km 20.5
carretera Manzanillo-Cihuatlán, Teléfono: 01 31 43 31 12 07
elinares@ucol.mx

Jorge Gudiño Lau

Facultad de Ingeniería Electromecánica, Universidad de Colima, km 20.5
carretera Manzanillo-Cihuatlán, Teléfono: 01 31 43 31 12 07
jglau@ucol.mx

Saida Miriam Charre Ibarra

Facultad de Ingeniería Electromecánica, Universidad de Colima, km 20.5
carretera Manzanillo-Cihuatlán, Teléfono: 01 31 43 31 12 07
scharre@ucol.mx

Miguel Duran Fonseca

Facultad de Ingeniería Electromecánica, Universidad de Colima, km 20.5
carretera Manzanillo-Cihuatlán, Teléfono: 01 31 43 31 12 07
mduran@ucol.mx

Resumen

Este trabajo presenta el diseño de una interfaz háptica empleando un dispositivo háptico (Novint Falcon) para fines de diagnóstico de rehabilitación. Se diseñó un algoritmo de computadora que envía al dispositivo háptico un vector de fuerza para que sean transmitidos al usuario, esto se logra al estimular el sentido del tacto del usuario y para que vea real se diseñó un renderizado háptico para estimular la vista. Se empleó la ley de Hook para un resorte lineal fuerza para calcular la fuerza. Por último se muestran los resultados experimentales.

Palabra(s) Clave(s): háptica, renderizado, virtual.

1. Introducción

Los algoritmos de renderizado háptico permiten que el usuario interactúe con un entorno virtual y pueda percibir de manera “realista” los objetos. Esta representación se logra por medio de algoritmos de computadora que envían al dispositivo háptico los vectores de fuerza necesarios para que sean transmitidos al usuario, esto se logra al estimular el sentido del tacto del usuario, más específicamente, el sistema háptico.

El sistema háptico presenta un canal bidireccional de comunicación entre el entorno y el cerebro [5], permitiendo de esta forma no solo transmitir un estímulo al tocar a otra persona por ejemplo, si no al mismo tiempo percibir un estímulo como puede ser la textura diferentes superficies, la dureza de la superficie, la deformación de la superficie, entre otros.

Con base en el carácter multidisciplinario de la háptica se ha creado la siguiente subdivisión [5]:

- la háptica humana, es el estudio de la percepción y manipulación de objetos a través del tacto,
- la háptica de máquina, se refiere al diseño, construcción y uso de las máquinas para reemplazar o mejorar el sentido del tacto, y
- la háptica de computadora, son un conjunto de algoritmos y software asociado con la generación del contacto y percepción de objetos virtuales.

Un dispositivo háptico muy utilizado por su bajo costo es el Novint Falcon, fue lanzado al mercado en el año 2007 como el primer dispositivo de consumo con retroalimentación de fuerzas en tres dimensiones (3D) destinado para el mundo del entretenimiento y los videojuegos [3]. Este dispositivo tiene una configuración de robot delta y su efector final tiene un área de trabajo de 10cmx10cmx10cm, aunque se han

presentado trabajos como el de Martin y Hiller que reportan que el espacio de trabajo no es uniforme [3].

Otro dispositivo háptico muy utilizado y que se prefiere más en la investigación es el Phantom Omni, el cual cuenta con seis grados de libertad. Este cuenta con un efector final en forma de pluma lo que permite una manipulación más natural [2].

Los dispositivos hápticos pueden ser encontrados en prácticamente cualquier área de investigación, tal es el caso de la medicina, en la que se han desarrollado dispositivos hápticos como apoyo a los cirujanos. Un ejemplo de este tipo de tecnología se encuentra en Da Vinci [1].

En general, un dispositivo háptico se conecta a una computadora por medio de un puerto (en el caso particular del Falcon es por el puerto USB), envía un vector posición a la computadora a través de sus encoders ópticos y el dispositivo recibe un vector de fuerza que es enviado por la computadora, es decir el dispositivo háptico tiene como señal de entrada un vector de fuerza (f_x , f_y y f_z) y como señal de salida un vector de posición cartesiano (x , y y z), por lo que internamente el dispositivo háptico tiene la cinemática inversa y no es proporcionada por el fabricante, mediante un algoritmo de control háptico permite al usuario esa sensación de estar tocando un objeto real [3].

2. Desarrollo

Los algoritmos de computadora responsables de procesar la información procedente del dispositivo háptico y enviar la información de fuerzas deben asegurar la sincronización entre la representación visual del entorno (gráficas por computadora) y la representación háptica para garantizar que los estímulos transmitidos al usuario se perciban lo más real posibles.

Para completar la interacción se tienen algoritmos de computadora que generan el entorno virtual y reaccionan a las interacciones entre el usuario (a través del dispositivo háptico) y el entorno.

La Fig. 1 presenta un esquema general del algoritmo de renderizado (es una “representación” de un objeto, en el texto se utilizarán indistintamente los términos renderizar y representar) en el que se puede observar el funcionamiento básico de representación objetos en un entorno virtual con un dispositivo de retroalimentación de fuerzas.

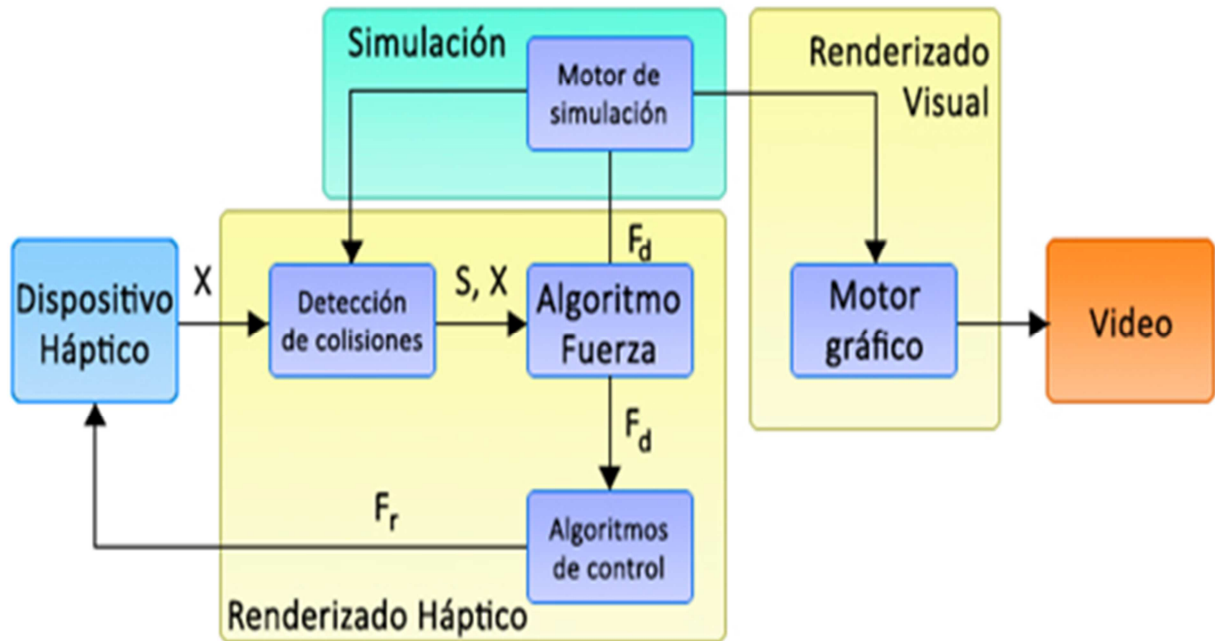


Fig. 1. Bloques funcionales de un algoritmo de renderizado háptico [4].

El funcionamiento completo de este tipo de sistemas inicia con la obtención de la posición del efector final del dispositivo háptico (algoritmo de control de bajo nivel), esta información es enviada a la computadora para su procesamiento por el entorno virtual el cual calcula los efectos que puede tener el movimiento y en caso de presentarse alguna colisión con un objeto calcular las fuerzas resultantes (algoritmo de detección de colisiones) y enviarlas de regreso al dispositivo háptico para que las transmita al usuario (algoritmo de fuerza) [4]. A este proceso se le llama ciclo háptico ya que es ejecutado constantemente aproximadamente 1000 veces por segundo (1Khz), de otro modo la interacción con la superficie no se sentirá real (más suave o solo vibración) [5].

Las interacciones para el renderizado háptico con retroalimentación de fuerzas se clasifican basados en la forma en la que se modela el avatar (representación virtual de la interfaz háptica por medio de la cual el usuario interactúa con el entorno virtual [2], en términos de háptica se suele llamar a esta representación como Haptic Interface Point (HIP por sus siglas en inglés) por lo que ambos términos se utilizarán indistintamente) del dispositivo háptico [6]:

- interacción basada en un punto, es cuando el avatar se modela como un punto como si se explorara y manipulara el entorno a través de la punta de una herramienta,
- interacción basada en rayos, se modela el avatar como uno o más segmentos de línea, e
- interacción basada en un objeto 3D, es cuando el avatar está formado por un grupo de puntos, segmentos de línea y/o polígonos.

El método utilizado para la interacción depende de las necesidades y complejidades de la aplicación [5].

Debido a las características de los entornos virtuales y a que los dispositivos hápticos solo pueden representar una cantidad de fuerza limitada el dispositivo háptico siempre “atravesará” los objetos virtuales no importando si son rígidos o no [4].

Para la interacción basada en un punto, al momento de detectar una colisión, se verifica si el HIP está dentro del objeto, en caso de ser así, se calcula la distancia entre el HIP Haptic Interface Point por sus siglas en inglés) y el punto más cercano a este sobre la superficie del objeto, esta distancia permite calcular la fuerza resultante que será aplicada al usuario [6].

La fuerza se calcula utilizando las leyes de Hook para un resorte lineal [5]:

$$F = Kx$$

donde K es el coeficiente del resorte, x es la profundidad de penetración y F es la fuerza de reacción (para interacciones sin fricción) que es normal a la cara poligonal con la que colisiona el HIP (ver fig. 2).

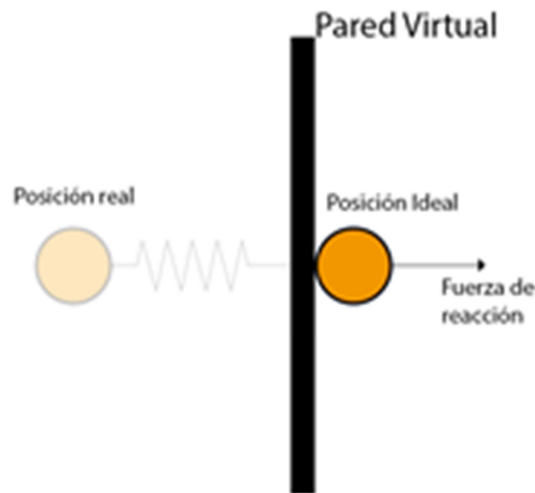


Fig. 2. Representación háptica de la pared virtual.

Para objetos rígidos el valor de K se establece al valor más alto posible limitado por las inestabilidades del dispositivo al contacto. Según algunos estudios el agregar un amortiguador a la dinámica de la interacción se mejora la estabilidad del sistema y la precepción háptica de la rigidez.

Los algoritmos de renderizado de fuerzas se clasifican por el número de grados de libertad necesarios para describir la fuerza de interacción a representar [4]:

- Interacción de un grado de libertad, se utiliza sólo una dimensión espacial, es el equivalente a crear una pared virtual con, las fuerzas de interacción serían las equivalentes a entrar en contacto con un objeto infinitamente rígido. Este caso

se representa mediante un resorte atado a una pared (ver fig. 2), un ejemplo es abrir una puerta al girando la manija [4].

El algoritmo más simple para renderizar una pared virtual viene dado por

$$F = \begin{cases} 0, & x > x_w \\ k(x_w - x), & x \leq x_w \end{cases}$$

donde F = Fuerza de reacción

K = dureza de la pared (idealmente es un valor muy grande)

X = posición del HIP

X_w = posición de la pared

- Interacción de dos grados de libertad, es el desplazamiento se tiene en dos dimensiones espaciales, como el movimiento de un mouse de computadora [4].
- Interacción de tres grados de libertad, se asume que se interactúa con el mundo virtual a través de un HIP y se requiere el cálculo de las 3 componentes de fuerza. Un algoritmo para este tipo de interacción es el proxy [4].
- Se tienen además clasificaciones para seis grados de libertad.

Por otra parte, el dispositivo se mueve por el entorno sin que exista colisión alguna, el HIP y el proxy se visualizan en la misma posición y eso hace que el usuario no perciba ninguna fuerza que restrinja su movimiento. Al momento de detectarse una colisión, el proxy se mantiene visible fuera del objeto (haciendo contacto con la superficie) en la posición más cercana al HIP. [4]. Relación entre las posiciones del HIP y del proxy se observa en la Fig. 3. En la Fig. 3a se representa la visualización en el espacio libre de contacto, el proxy y el HIP se sobreponen. La Fig. 3b muestra lo que sucede al presentarse una colisión, el proxy y el HIP se separan (el HIP no es visible). En la Fig. 3c se muestra el proxy sobre la superficie del objeto en la posición más cercana a la posición real del HIP [7]

La Fig. 3 muestra la relación entre las posiciones del proxy y el HIP.

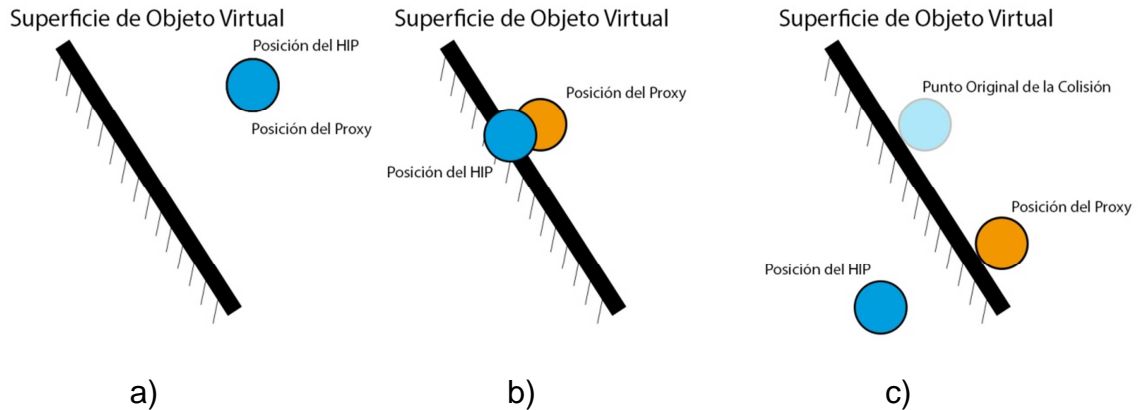


Fig. 3. Relación entre las posiciones del HIP y del proxy.

3. Resultados

El presente trabajo utiliza los conceptos mostrados en la sección 2, para el diseño de una aplicación de seguimiento de trayectoria. Dicha trayectoria es guiada por algoritmos de renderizado háptico para establecer una guía que le indique al usuario cual es el camino a seguir sin que esto evite el movimiento libre por el entorno. Para la creación del prototipo se utiliza Matlab por las facilidades que brinda para la graficación y análisis de la información recopilada, también permite un rápido diseño y desarrollo del entorno en 3 dimensiones (3D).

La Fig. 4 muestra la interfáz del prototipo, en ella se muestra una libreta virtual sobre una base de madera. En la libreta se muestra un círculo, el cual representa la trayectoria a seguir. Como proxy se utiliza una esfera pequeña.

Al ejecutar la simulación se activa la retroalimentación de fuerzas del dispositivo háptico. Mientras el usuario siga la trayectoria deseada (círculo) no se impone ninguna restricción al usuario, lo que significa que no se representan fuerzas que limiten el

movimiento. Si el usuario se desvía de su trayectoria se envía un vector de fuerzas al dispositivo con el esquema de resorte explicado anteriormente para indicar al usuario que la trayectoria se está desviando de la deseada, entre más se desvíe mayor será la fuerza representada en el dispositivo.

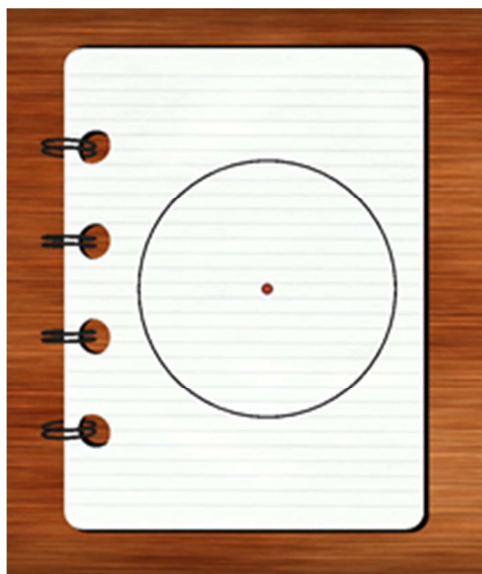


Fig. 4. Interfaz del prototipo.

También se permite el movimiento libre al “levantar” el proxy del papel se permite un comportamiento completamente libre, lo que representa moverse en el aire.

La interfaz fue creada en el mismo Matlab con la herramienta 3d Simulink Animation. El círculo que se muestra sobre la libreta sirve de referencia para el movimiento que se debe realizar por el usuario. Para un funcionamiento mas realista se dividió el círculo en cuadrantes y la posición del proxy cada uno se evalúa por separado.

La adaptación que se hace a este prototipo del algoritmo de renderizado de una pared háptica es tomar la circunferencia como si fuera la pared en cuestión, si el usuario se desvía de la ruta predefinida se genera una fuerza a partir del punto en el que se separó del círculo representando internamente en ese punto un resorte que sirve para calcular la fuerza a aplicar al dispositivo.

En cada movimiento del proxy se calcula una desviación del ideal (circunferencia) y esa desviación es utilizada en (1) para el cálculo de la fuerza.

La Fig. 5 muestra un ejemplo de seguimiento de la trayectoria circular por el usuario, se puede notar que no es circular completamente lo cual se hizo a propósito para representar las fuerzas que restringen en movimiento. En la Fig. 6 se puede observar que a mayor distancia de la trayectoria deseada se aplica más fuerza al dispositivo para indicar al usuario que se ha salido de la ruta preestablecida.

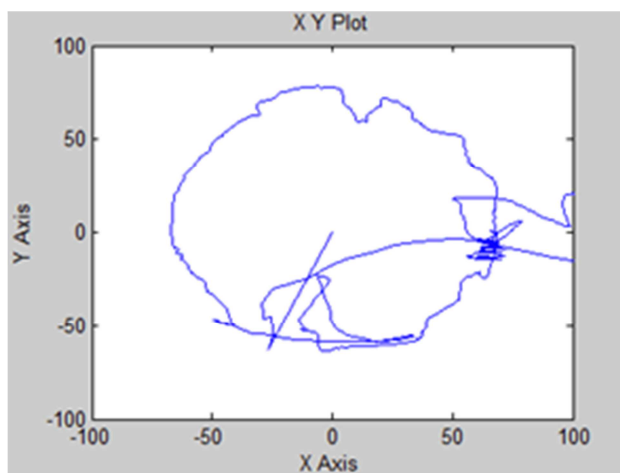


Fig. 5. Gráficas en el plano cartesiano del seguimiento.

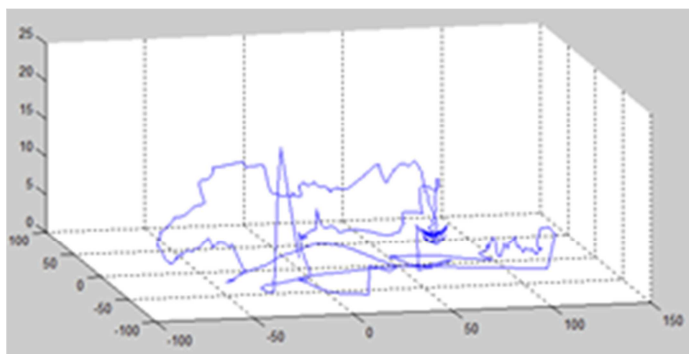


Fig. 6. Gráficas de la fuerza resultante durante el trayecto.

4. Discusión

Este artículo muestra los primeros pasos de investigación, referente al diagnóstico y evaluación de extremidades superiores (manos) de pacientes que han perdido capacidad sensorial y motriz, con el propósito de mejorar la salud humana empleando la tecnología de interfaces hápticas, que sirve para la simulación de entornos, sensaciones mediante realidad virtual y tecnología del tacto, desarrollo de entornos y ambientes inteligentes. El propósito de esta investigación, es hacer un interfaz háptica en busca de mejorar la calidad de vida los pacientes que tienen problemas en extremidades superiores, más específicamente niños. El seguimiento de trayectorias presenta una excelente vía para el diagnóstico y rehabilitación de pacientes ya que permite evaluar el grado de daño en la articulación evaluada.

5. Conclusiones

Se dieron los primeros pasos en el área de las interfaces hápticas, se diseñó un entorno virtual con el objetivo de diagnosticar y evaluar pacientes con algún daño en extremidades superiores, en manos específicamente. La información obtenida proporciona al especialista un panorama más preciso del grado de lesión evaluada, ya que en general la evaluación de pacientes se realiza por inspección sin ningún instrumento de precisión que proporcione información exacta. Se obtuvieron resultados satisfactorios al aplicarlo a un grupo de personas sanas para evaluar el desempeño normal al realizar este tipo de actividad, sin embargo todavía no se aplica a pacientes con problemas motores en el miembro superior, el siguiente paso es realizarlo con pacientes que presenten diferentes grados de lesión en la muñeca. A partir de este trabajo se puede deducir que la realidad virtual y la retroalimentación de fuerzas son muy útiles al momento de realizar seguimiento de trayectorias dirigidas, ya que ofrece un mejor control sobre la ruta que se plantea seguir, y se puede diagnosticar y evaluar a un paciente; ya que el algoritmo de control de fuerza utilizado es bastante sencillo permite representar fuerzas de una forma aceptable.

6. Referencias

- [1] El Saddik, Abdulmotaleb, Orozco, Mauricio, Eid, Mohamad; et al., "Haptics Technologies. Bringing Touch to Multimedia". 2011. Berlin, Heidelberg: Springer.
- [2] Kawai, Satoru, Faust Jr., H. Paul, L. Christine MacKenzie, Computer Graphic and PHANToM Haptic Displays: Powerful Tools in Understand How Human Perceive Heaviness. 2012. En: El Saddik, Abdulmotaleb ed., Haptics Rendering and Applications. Rijeka, Croatia: InTech. 25-46 pp.
- [3] J. L. Rodríguez, R. Velázquez, "Haptic Rendering of Virtual Shapes with the Novint Falcon". *Procedia Technology*. Vol. 3. 132-138 pp.
- [4] K. Salisbury, F. Conti, Francois, "Haptic Rendering: Introductory Concepts". *Computer Graphics and Applications*, IEEE. Vol. 2. No. 24. 2004. 24-32 pp.
- [5] What is Haptics?. <http://touchlab.mit.edu>. Agosto 2014.
- [6] M. A. Srinivasan. C. Basdogan, "Haptics in virtual environments: Taxonomy, research status, and challenges". *Comput. & Graphics*. Vol. 4. No. 21. 1997. 393-404 pp.
- [7] F. Rydén. H. Chizeck, Howard, "A Proxy Method for Real-Time 3-DOF Haptic Rendering of Streaming Point Cloud Data". *IEEE Transactions on Haptics*. Vol. 6. No. 3. 2013. 257-267 pp.

7. Autores

Dr. Jorge Gudiño Lau es Doctor en Ingeniería Eléctrica en el área de control con especialidad en Robótica por la Universidad Nacional Autónoma de México en el 2005. Actualmente es Profesor-Investigador de Tiempo Completo y Líder del Cuerpo Académico UCOL-CA 21 Sistemas Mecatrónicos y Eléctricos de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima.

Ing. Enrique Linares Ramírez es Ingeniero en Sistemas Computacionales por la Universidad de Colima. Laboró como desarrollador en la empresa Sistematización

donde desarrollo software en el lenguaje de programación Clipper, posteriormente se desempeñó como Administrador de Centro de Cómputo de un plantel de la Universidad de Colima. Actualmente es catedrático de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima impartiendo las materias Algorítmica, Estructura de Datos y Teoría de Autómatas, también cursa los estudios de posgrado en Maestría en Ingeniería en la misma facultad.

Dr. Miguel Ángel Duran Fonseca Doctor en Ingeniería Eléctrica en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET en el 2010. Actualmente es Profesor-Investigador de Tiempo Completo, Coordinador Académico e integrante del Cuerpo Académico UCOL-CA 21 Sistemas Mecatrónicos y Eléctricos de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima.

M.I Saida Miriam Charre Ibarra es Maestra en Ingeniería en el área de automatización y control por el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán en el 2004. Actualmente es Profesor-Investigador de Tiempo Completo y pertenece al Cuerpo Académico UCOL-CA 21 Sistemas Mecatrónicos y Eléctricos de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima.